

**Kevin Edgardo Ducón Pardey**  
**Interacción Persona-Ordenador**  
**24 de Octubre de 2010**

## **CAVE (Cave Automatic Virtual Environment)**

### **Introducción**

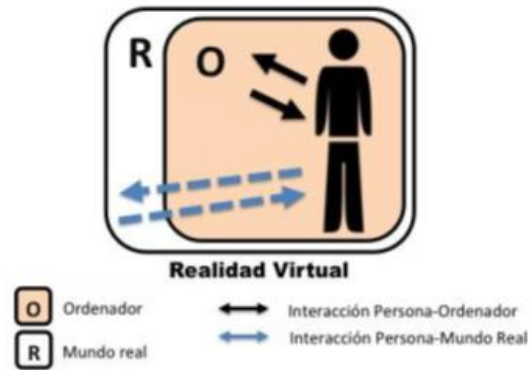
Un CAVE se cataloga como un entorno de realidad virtual inmersiva. Puede a su vez decirse que los CAVE son entornos multipersona de alta resolución con video 3D y audio, ajustados a un espacio determinado. También asocian el término a la Alegoría que hace Platón en “la República”, donde el filósofo hace un análisis que contempla la percepción, la realidad y la ilusión



**Figura 1.** Interacción en un CAVE.

Un CAVE consta de una sala en forma de cubo, en la que hay proyectores orientados hacia las diferentes paredes, suelo y techo. Dependiendo de la aplicación, del experimento o de los resultados a obtener se utilizarán en dos, tres, cuatro, cinco o seis paredes del cubo. Dependiendo de la aplicación se utilizan lentes estereoscópicas. Así mismo el uso de sensores de movimiento hace que el usuario tenga una mayor experiencia inmersiva, porque ayuda a la actualización de las proyecciones e interacciones de acuerdo a los movimientos del usuario.

Puede ser usado para presentar experiencias en entornos virtuales con un alto grado de inmersión. La tecnología permite interactuar, por lo cual es de entrada y salida. Corresponde al Paradigma de Realidad Virtual, al ser un sistema aislado totalmente inmersivo, la interacción es directamente con el ordenador, la comunicación con el mundo real es transparente, solo la hacen los procedimientos externos como se Muestra en la **Figura 2**.



**Figura 2.** Interacción Realidad Virtual. [6]

Después de su puesta en marcha como proyecto I+D, se utilizaría en varios sectores y se realiza la comercialización, sin embargo por su complejidad requiere personal altamente calificado, no todo el común de la gente tiene acceso a esta tecnología.. Varias empresas de Realidad Virtual ofrecen la solución, al igual se han hecho estimaciones de costos, y dependiendo del proyecto, puede estar alrededor de 19.300 Euros una solución de bajo costo con estructura, proyectores, canvas y materiales de red [11], pero así mismo puede variar dependiendo de la aplicación que se implemente y el nivel de inmersión que se desee generar.

## **Antecedentes**

El término CAVE se relaciona por primera vez en el paper “The Cave, Audio Visual Experience Automatic Virtual Environment” de Carolina Cruz-Neira, Daniel J. Sandin, Thomas A. Dfanti, Robert V. Kenyon y John C. Hart, publicación del desarrollo realizado por el Laboratorio de Visualización Electrónica (EVL) de la Universidad de Illinois-Chicago (UIC) en 1992, originalmente desarrollada como una herramienta para la visualización de datos. En dicho Artículo se encuentra un análisis de cuatro diferentes sistemas virtuales para visualización, HMD (Head-Mounted Display), Cathode Ray Tube, Binocular Omni-Oriented Monitor (BOOM) y Audio-Visual Experience Automatic Virtual Environment(CAVE). En el paper se describe cómo los CAVE resuelven algunos problemas que presentaban los anteriores sistemas de realidad virtual y que fácilmente se podían resolver con tecnología existente. A su vez describe en detalle los elementos que calculan cuán efectivo puede ser un ambiente inmersivo, entre ellos, el campo de vista, panorama, perspectiva viewer-centered, etc. La **tabla 1** muestra cómo cada sistema se comporta en aspectos de inmersión y visualización.

Con esto, los resultados ubicaron al CAVE como una interfaz de alta resolución no intrusiva para la realidad virtual fácil de aprender. Superior a los paradigmas de su época en diferentes aspectos.

Table 1. Immersion Issues					
	Field of View	Panorama	Perspective	Body Rep.	Intrusion
CRT	45°	None	Slow	Physical	None
BOOM	90° ↔ 120°	Fast	Fast	Virtual	Partial
HMD	100° ↔ 140°	Slow	Slow	Virtual	Full
CAVE	Full	Fast	Slow	Physical	None

Table 2. Visualization Issues*					
	Vis. Acuity	Linearity	Look Around	Prog. Refine.	Collab.
CRT	20/45	Linear	Limited	Fix Loc. only	Single Persp.
BOOM	20/85*	LEEP	Full	Fix Loc. and Rot.	Dup. Hardware
HMD	20/425	Either	Full	Fix Loc. and Rot.	Dup. Hardware
CAVE	20/110	Linear	Full	Fix Loc. only	Single Persp.

**Tabla 1.** Tablas comparativas de [1].

La **figura 3** muestra un render del primer CAVE. Es una visión desde el exterior del CAVE, mirando hacia la parte posterior de la pared frontal. Los espejos reflejan los rayos del proyector a cada pared del CAVE, en este caso en la pared frontal, lateral izquierda y lateral derecha, el espejo de la parte superior realiza la proyección al suelo. La pared posterior está abierta, permitiendo la entrada al CAVE.

La configuración del primer CAVE de EVL-UCL es un teatro, alrededor de 3,1 x 3,1 x 2,7 metros. Constaba de tres pantallas de la parte trasera que proyectan a las paredes y una pantalla superior que proyecta al suelo. Utilizaba una "ventana" de proyección donde se especifica el plano de proyección y el centro de la proyección con respecto al plano de cada ojo, creando así un punto de vista fuera del eje projection. 5 Computadores Onyx de Silicon Graphics, Inc. (SGI) con Reality Engine2 (RE2) o Infinite Reality (IR) motores de representación de gráficos se utilizan para crear las imágenes que se proyectan en las paredes y el piso. Proyector Electrohome Marquis 8000 u 8500 estéreo, full-color de los campos de estación de trabajo (1024 x 768 estéreo) a 96 Hz en las pantallas, dando a 3000 x 2000 píxeles de resolución lineal de la imagen circundante compuesta. Para dar la ilusión de 3D, dos imágenes alternantes mostradas en cada pared a una velocidad de 96 Hz (48 Hz frecuencia de actualización por línea). El espectador llevaba gafas estereoscópicas de obturación LCD (Crystal Eyes, Stereographics) que permiten que se muestre una imagen diferente a cada ojo. Ofrecía una vista panorámica que variaba de 90 ° a más de 180 ° en función de la distancia del espectador a partir de las pantallas de proyección. El campo de visión directa de visión es de 100 ° y es una función del diseño del marco de las gafas estereoscópicas.

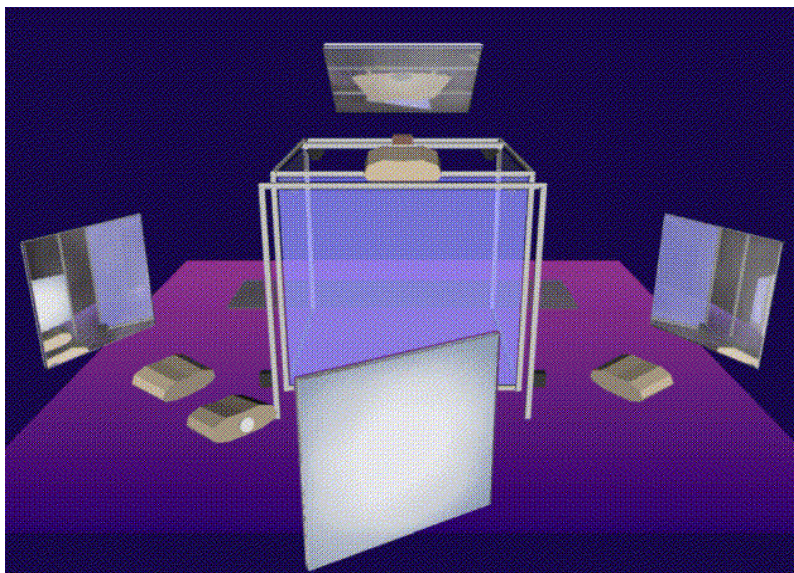


Figura 3. CAVE del EVL de la UIC.

## Componentes

Como se describió con el CAVE del EVL-UIC, hay unos componentes básicos para un CAVE, sin embargo, acorde a la aplicación, se han implementado otros componentes y a su vez el surgimiento de tecnologías nuevas y ayudas para la inmersión. Basados en las descripciones del CAVE de la UPM que se mencionará más adelante, el Centro de Domótica Integral CeDInt nos ilustra con la **figura 4** los componentes que se relacionan en un CAVE.

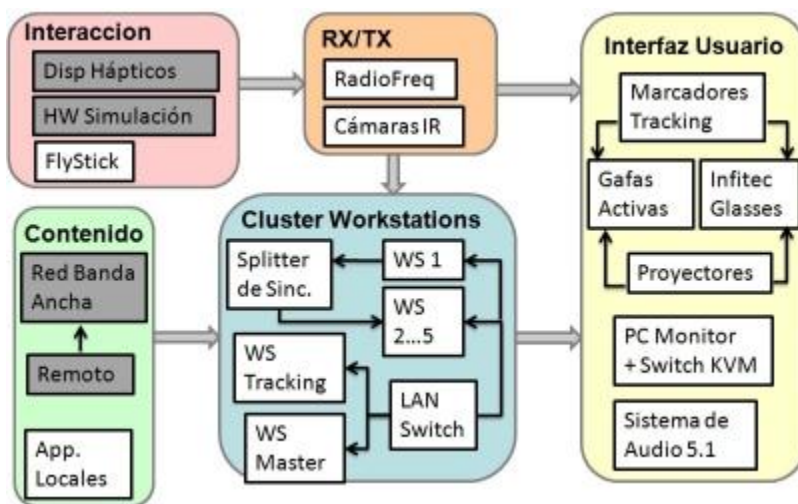


Figura 4. Componentes de un CAVE. [9]

En resumen, es un teatro (del tamaño de una habitación), compuesto de pantallas de proyección en las paredes, y proyectores de alta resolución que a través de espejos reflejan las imágenes en las paredes. El usuario lleva gafas estereoscópicas y en algunos casos objetos, para poder sentir mayor experiencia de inmersión en la plataforma. Se utilizan sensores electromagnéticos para

aumentar la experiencia inmersiva en el ambiente virtual, por esta razón es importante que el marco de la cueva se haga de materiales no-magnéticos de acero inoxidable para interferir lo menos posible con los sensores. Hay un sistema de audio controlado para aumentar la experiencia inmersiva, que depende de la interacción del usuario con el CAVE, por eso se instalan altavoces en ángulos múltiples del CAVE, para garantizar un sonido envolvente. Todas las funciones están controladas por computadores, tanto la proyección y el audio basados en las interacciones del usuario con el sistema.

## **Ventajas y Desventajas del uso de CAVEs**

Las ventajas y desventajas en el uso de CAVES, son también las que generan el uso de realidad virtual, dependiendo del contexto claro está.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aprendizaje en manipulación de objetos en un contexto no real.</li> <li>• Ayuda a realizar experimentos, entrenamiento, formación y aspectos académicos y de negocios que evitan pérdidas económicas, materiales o humanas.</li> <li>• Beneficios para que personas de diversidad funcional puedan experimentar cuestiones que no les permite la realidad.</li> <li>• Permite realizar un seguimiento de las situaciones y procedimientos realizados inworld.</li> <li>• Se puede romper paradigmas, principios y leyes de la realidad (Gravedad, Vuelo, Arquitectura Virtual, etc).</li> <li>• Se pueden poner a prueba principios y modelos.</li> <li>• Se pueden plantear situaciones para ser simuladas y poder obtener una retroalimentación de los sucesos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La complejidad de los desarrollos es elevada.</li> <li>• Los costos son bastante elevados en la realización de mundos virtuales.</li> <li>• Habrán defectos durante la experiencia in-world, en cuanto a la interacción entre el programa y los usuarios en cuanto a la interfaz.</li> <li>• Se puede presentar desorientación espacial.</li> <li>• A veces suele ser difícil el aprendizaje del uso de la herramienta, lo cual incurre en cierta dificultad para dominar los mandos y/o controles.</li> <li>• Distanciamiento emocional de los objetos y escenas virtuales.</li> <li>• Todo el equipo técnico necesita de un adecuado personal para el mantenimiento e instalación, por lo tanto para su manejo requiere personal altamente calificado.</li> </ul>

**Tabla 2.** Comparativo Ventajas y Desventajas



## **Tecnologías Relacionadas**

El software y las librerías diseñadas específicamente para las aplicaciones CAVE están disponibles. Existen varias técnicas para el rendering de las escenas. OpenGL es la mejor para simulaciones simples. A su vez hay 3 escenarios gráficos populares en uso hoy en día: OpenSG, OpenSceneGraph y OpenGL Performer. OpenSG y OpenSceneGraph son de código abierto, mientras que OpenGL Performer es un producto comercial de la SGI.

**CAVELib** es la API original, desarrollado por EVL-UIC. El software se comercializó en 1996 y potencializado por VRCO Inc. CAVELib es un paquete software de bajo nivel para realidad virtual que permite desarrollo y creación, centrada en el observador, con todas las características mencionadas anteriormente. Los desarrolladores crean todos los gráficos de su entorno y la CAVELib los muestra acorde a lo planeado. La API CAVELib es independiente a la plataforma, permitiendo a los desarrolladores crear aplicaciones de alto nivel de realidad virtual en los sistemas operativos Windows y Linux (IRIX, Solaris, y HP-UX ya no son compatibles). Las aplicaciones basadas en CAVELib son configurables externamente en tiempo de ejecución, haciendo la aplicación ejecutable independiente del sistema de visualización.

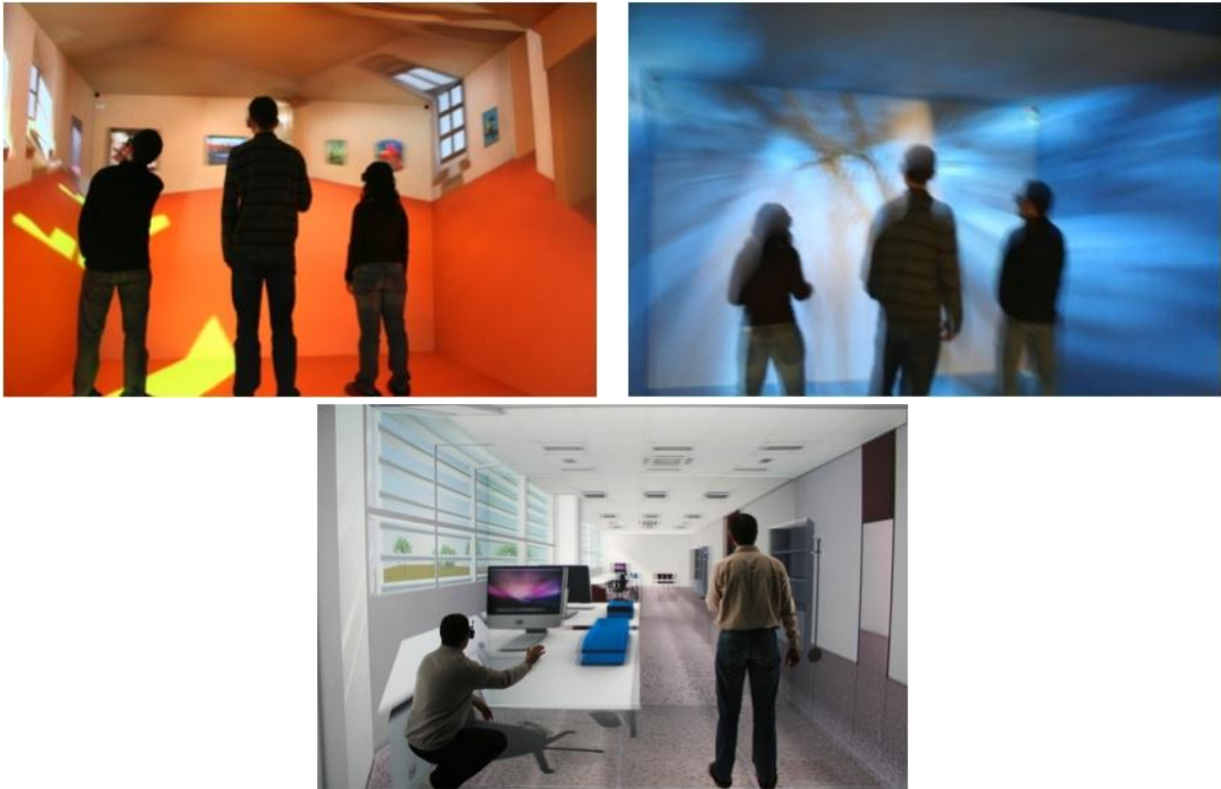
Hay gran cantidad de aplicaciones que ofrecen APIs y plataformas de desarrollo para VR (*VR Juggler, CoVE, Quest 3D, VR4MAX, TechViz*), frameworks (*Equalizer, Avango, inVRs*) Sistemas Operativos (*Syzygy*), librerías (*libGlass*) y Aplicaciones (*CaveUT, Vrui, 3DVisualizer, LidarViewer, Cave 5D, EON Icube*), entre otras, que se relacionan con el software relacionado con CAVES

## **Aplicaciones**

Hay varias aplicaciones de los CAVE. Muchas compañías utilizan los CAVE para el desarrollo de prototipos de creaciones, interfaces, situaciones simuladas, y todo con el fin de evitar pérdidas de cualquier tipo, económicas, humanas, de inmuebles, etc. Los negocios, la industria, el gobierno, los museos e instituciones didácticas de prestigio utilizan la CAVE para investigación, exploración, creación de prototipos de manera más rápida, ingeniería, diseño y marketing. También las universidades adquieren CAVES para investigación y desarrollo en este tipo de ambientes, o bien para realizar nuevos conceptos en el área.

## **CAVE en la Universidad Politécnica de Madrid**

El Laboratorio de Realidad Virtual de CeDInt, para el desarrollo y visualización de aplicaciones de Realidad Virtual, cuenta con un sistema portable, un muro 3D, y una cueva (CAVE: Cave Automated Virtual Environment: **el i-SPACE**). Es la única infraestructura de estas características existente en el sur de Europa. Los componentes de interacción de entrada y salida, proporcionan una experiencia de visualización 3D con un alto grado de inmersión.



**Figura 4.** Imágenes i-SPACE [9]

i-SPACE, es una implementación de un CAVE de 5 caras Se trata de un sistema de visualización 3D envolvente en el que la ilusión de inmersividad se consigue utilizando tecnología de proyección estéreo Active Infitec®+ contra cinco pantallas de grandes dimensiones, compuestas de modo que simulan un cubo dentro del cual se sitúa el usuario. Consta de:

- 5 pantallas (frontal, laterales, suelo y techo) BARCO DarkScreen® retro-proyectadas, especialmente indicadas para proyecciones multicanal, cada una con dimensiones de 3,20 x 2,40 m (formato 4:3).
- 5 proyectores 3D de alta resolución / sistemas de vídeo, modelo 3D BARCO Galaxy 12 HB+ con tecnología DLPTM, resolución nativa SXGA+, luminosidad de 12000 ANSI lumens y contraste.
- 6 estaciones de trabajo HPxw8600 en clúster, con las siguientes características: 2 procesadores Intel Xeon X5472, 3.00MHz, 12MB de cache, 8GB de memoria RAM ECC DDR2 a 800MHz, Disco duro de 300GB SAS, 3Gb/s, 15K rpm, Tarjeta gráfica PCIe nVidia Quadro FX5800 con 4GB de memoria, Unidad DVD+/-RW 16x LightScribe, Tarjeta de red 5751 NetXtreme, 1Gibabit, Tarjeta de audio Sound Blaster X-Fi XtremeGamer y Sistema Operativo Microsoft Windows XP Pro x64-bit.
- Sistema de tracking y dispositivos de interacción: gafas estereoscópicas Infitec® deLuxe, Flystick para navegación en primera persona, tracking óptico ARTtracking de 6 grados de

libertad (posición y orientación), con cuatro cámaras dotadas de sensores de imagen CCD que trabajan en el espectro de luz cercano al infrarrojo y dos sistemas de referencia.

- Sistema de audio envolvente basado en tecnología 5.1.
- Plataforma de desarrollo de aplicaciones de Realidad Virtual.
- Conectividad de red de alta capacidad.

## **Conclusión**

Un CAVE es un entorno de realidad virtual que permite realizar experiencias en entornos virtuales con un alto grado de inmersión. Cuenta con las ventajas y desventajas de un entorno de realidad virtual, resaltando la importancia que puede suponer su uso para la realización de experimentos, entrenamiento, formación y aspectos académicos y de negocios que evitan pérdidas económicas, materiales o humanas, en diversas áreas como la defensa, medicina, informática y demás. Sin embargo, es una tecnología de alto costo y que necesita un importante equipo capacitado para su instalación y mantenimiento. Es una tecnología que continúa vigente, sigue en investigación y desarrollo.

## **Bibliografía**

### **Referencias**

- [1] Cruz-Neira C., Sandin D.J., DeFanti T.A., Kenyon R.V. and Hart J.C., "The CAVE: Audio Visual Experience Automatic Virtual Environment," Communications of the ACM, 35 (6): 65-72, 1992.
- [2] Cruz-Neira C., Sandin D.J. and DeFanti T.A., "Surround-Screen Projection Based Virtual Reality: The Design and Implementation of the CAVE", Computer Graphics, 27: 135-142, 1993.
- [3] DeFanti T.A., Sandin D.J. and Cruz-Neira C., "A "Room" with a "View"" IEEE Spectrum, October: 30-33, 1993.
- [4] Isabelle S.K., Gilkey R.H., Kenyon R.V., Valentino K., Flach J.M., Spenny C.H., Anderson T.R. "Defense applications of the CAVE (CAVE Automatic Virtual Environment)". Air Force Office of Scientific Research (F49620-95-1-0106).g
- [5] Kenyon R.V., "The CAVE Automatic Virtual Environment: Characteristics and Applications". Human-Computer Interaction and Virtual Environments, ed. Ahmed Noor Ph.D., NASA Conference Publication #3320, Pages 149-168, November, 1995.

### **Referencias Electrónicas**

- [6] Curso Interacción Persona-Ordenador. Apuntes de Clase. Tema 5. Clase 1. Estilos y Dispositivos de Interacción.



<http://moodle.upm.es/titulaciones/oficiales/file.php/2335/transparencias/T5C1.pdf>

[7] Wikipedia- Cave Automatic Virtual Environment

[http://en.wikipedia.org/wiki/Cave\\_Automatic\\_Virtual\\_Environment](http://en.wikipedia.org/wiki/Cave_Automatic_Virtual_Environment)

[8] Benefits of CAVE Automatic Virtual Environment

<http://bvnunsw.wordpress.com/2011/09/07/benefits-of-cave-automatic-virtual-environment/>

[9] I-SPACE: Cave Automated Virtual Environment (CAVE) de 5 caras

<http://www.cedint.upm.es/es/equipo/i-space-cave>

[10] 3D Virtual Reality Environment Developed at UC San Diego Helps Scientists Innovate

<http://www.calit2.net/newsroom/release.php?id=1383>

[11] Implementing a Low-Cost CAVE System Using the CryEngine2

<http://cryve.id.tue.nl/paper/paper.html>